

Оцінювання ефективності вогнезахисту виробів з очерету при зовнішній дії полум'я бензину

Ю. В. Цапко, О. Ю. Цапко, О. П. Бондаренко, М. В. Суханевич

Проведеними дослідженнями процесу займання очерету встановлено механізми процесу передавання тепла до матеріалу, що дає можливість впливати на цей процес. Доведено, що процес займання полягає у нагріванні матеріалу до критичної температури, коли починається інтенсивний розклад з виділенням необхідної кількості горючих газів. Знаючи цей процес, стає можливим визначення ефективності вогнезахисту та властивостей покрівельних композицій на процес гальмування загорання очерету. При термічній дії на вогнезахищені зразки на поверхні утворився спучений шар за рахунок розкладання антипіренів під дією температури з виділенням негорючих газів, які гальмують процеси окиснення матеріалу та суттєво підвищують утворення на поверхні очерету теплозахисного шару коксу. Це приводить до підвищення товщини шару коксу та гальмування теплопередачі високотемпературного полум'я до матеріалу. Завдяки цьому стало можливим визначення умов вогнезахисту очерету шляхом утворення бар'єру для теплопровідності. Окрім того, при застосуванні вогнезахисного покриття температурний вплив здійснюється у напрямку реакцій у передполум'яній області у бік утворення сажеподібних продуктів на поверхні природного горючого матеріалу. Це дозволяє стверджувати про відповідність виявленого механізму формування властивостей вогнезахисту очерету спучуючими композиціями та практичну привабливість запропонованих технологічних рішень. Останні, зокрема, стосуються визначення кількості полімерної складової, оскільки очерет характеризується гідрофобністю і водний розчин антипірену стікає з поверхні. Додавання ПВА-дисперсії призводить до зниження інтенсивності вимивання антипірену з матеріалу більш ніж в 6...8 разів. Експериментальними дослідженнями підтверджено, що при дії полум'я бензину необроблений модельний зразок теплоізоляційного мату з очерету зайнявся на 205 с, що призвело до його повного згорання натомість вогнезахищений зразок при термічній дії не загорівся, поширення полум'я не відбулося, при цьому зафіксовано спучення захисного покриття на площі близько 0,028 м², що сягало 3...4 мм. Таким чином, є підстави стверджувати про можливість спрямованого регулювання процесів формування вогнезахисту очерету шляхом використання комплексної покрівельної композиції з суміші антипіренів, яка містить природний полімер, здатної утворювати на поверхні матеріалу вогнезахисну плівку.

Ключові слова: вогнезахист очерету, просочувальні розчини, покриття, оброблення поверхні, час займання, поширення полум'я

1. Вступ

Внаслідок унікальних властивостей очерету, таких як мала об'ємна вага, низька теплопровідність, висока атмосферо- і хімічна стійкість, можливість ви-

готовлення деталей на місці будівництва, вироби з очерету широко використовуються в будівництві. Особливо це стосується країн Західної Європи (Голандія, Данія), де з очерету виготовляють покрівлі дахів та проводять теплоізоляцію стін. У той же час, невирішеність питань протипожежного захисту виробів з таких матеріалів знижує можливість їх застосування. Резонансні факти пожеж на об'єктах із масовим перебуванням людей (будинки відпочинку, ресторани, кафе та інш.) вказують на актуальність його вогнезахисту.

Відомо, що очерет відноситься до целюлозовмісних матеріалів, які не здатні до полуменевого горіння самі по собі, лише під дією температури горять продукти її розкладу [1]. Введення в матеріал антипіренів зменшує кількість утворення горючих летких продуктів, інгібує газофазні реакції полум'я і виключає безполуменеве горіння карбонізованого залишку [2, 3].

У останній час набули поширення засоби, що здатні до утворення на поверхні будівельної конструкції теплоізоляційного шару, який у значній мірі знижує процеси передачі тепла до матеріалу [4].

Враховуючи особливості хімічної побудови і структури очерету при вогнезахисті виробів з очерету, виникають труднощі застосування просочувальних вогнезахисних засобів. Застосування ж нових потребує надійних способів вивчення властивостей покриття. Це і обумовило необхідність проведення досліджень у даному напрямку.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Для вогнезахисту очерету використовуються просочувальні засоби, які покривають будівельну конструкцію, що характеризується розкладом антипіренів під дією температури з поглинанням тепла та виділенням негорючих газів. В роботі [5] приведені результати досліджень поведінки вогнезахисного покриття під дією температурного впливу. Показано як поведінку спучувального покриття, так і подальший теплоперенос. Але залишається невирішеними питання, які пов'язані зі встановленням температури утворення пінококсу, що знижує якість отриманих результатів. У більшості випадків такі композиції модифікують полімерними комплексами і антипіренами, однак засоби відносяться до матеріалів, що характеризується низькою адгезією та при дії високої температури виділяють токсичні продукти горіння [6].

В роботі [7] приведені найбільш перспективні вогнезахисні композиції спучуючи покриттів, які являють собою складні системи органічних і неорганічних компонентів, але залишаються невисвітленими питання щодо прояву спільної дії компонентів покриття при спіненні. Матеріали, які наведено у роботі [8], характеризуються високою інтумесцентною здатністю, але не показано механізм утворення коксу та температурні переходи покриття в пінококс.

Кінетика утворення шару пінококсу, який утворюється при спученні, має свої особливості та залежить від властивостей речовин [9]. Тому постає необхідність дослідження умов утворення бар'єру для теплопровідності та встановлення ефективної дії покриття з утворенням шару коксу. Однак для підтвердження цього процесу не наведені відповідні фізико-хімічні розрахунки. Так, на думку авторів [10], це обумовлено утворенням при розкладу наповнювачів у

складі покриття значної кількості високотемпературних з'єднань, які при температурі ущільнюються та утворюють міцний скелет.

У напрямку даних досліджень [11] запропонована модель, яка враховує форми пор. Однак дана модель не враховує саме як зміна форми пор впливає на теплопередачу до самої конструкції. Крім того, багато покриттів мають цілу низку недоліків, таких як нанесення окремих компонентів, втрати функціональних властивостей при збільшенні температури середовища [12]. Це означає, що не визначено, як саме протікає процес за умов температур у діапазоні розкладу вогнезахисного покриття.

Для зниження водорозчинності та вимивання антипіренів з просочувальних розчинів та покриттів проводять обробку поверхні вогнезахисного матеріалу гідрофобізаторами [13]. А також вогнезахисну композицію готують на основі органічних в'язучих, які не розчиняються у воді [14]. Всі ці вимоги призначені для деревини і для очерету не завжди доцільні і потребують розроблення нових підходів [15].

Враховуючи вищенаведене, встановлено, що для такого матеріалу, як очерет, відсутні дані щодо підвищення його вогнестійкості і відповідно встановлення ефективності вогнезахисту для конкретного засобу, зокрема очерету, що має специфічні властивості та форми застосування.

Тому перспективним питанням є встановлення термічного опору покрівельних засобів для очерету при довготривалій дії температур та впливі суміші неорганічних і органічних речовин, які входять до складу покриття і у забезпеченні термічного опору полум'ю. А перерахунок питань потребують проведення досліджень у цьому напрямі.

3. Мета і задачі досліджень

Метою роботи є дослідження ефективності вогнезахисту очерету покрівельними просочувальними композиціями, які при термічній дії утворюють шар коксу.

Для досягнення мети вирішувались наступні задачі:

- встановити особливості гальмування процесу займання та поширення полум'я очерету при обробленні композицією на основі неорганічних речовин та полімерних комплексів при вимиванні антипіренів;
- провести оцінювання вогнестійкості виробу з очерету при натурних випробуваннях матів виготовлених з очерету при дії полум'я бензину.

4. Матеріали та методи дослідження

4.1. Досліджувані матеріали, які використовувались в експерименті

Встановлення ефективності вогнезахисту покрівельного розчину проводили на зразках очерету середніми розмірами діаметром до 10 мм, довжиною 310 мм, які зв'язували у мати розміром 310×140 мм товщиною 10...12 мм та обробляли покрівельним просочувальним розчином у кількості 40,2 г/м². А саме, модифікованим покрівельним просочувальним розчином «Skela-i» (суміш карбаміду 28...30 % і фосфорних кислот 23...24 % та крохмалю 20 %), а для підвищення стійкості проти води до даної суміші додавали ПВА-дисперсію у кількості 20 %. Отриману масу перемішували, додавали воду до 100 % і наносили на зразок очерету.

Для досліджень протидії будівельної конструкції з очерету високій температурі при дії полум'я бензину використовували модельні зразки конструкцій з очерету, виготовлених товщиною мату 60 мм середніми розмірами 700×280 мм (рис. 1):

а) необроблений (зразок № 1);

б) вогнезахиснені зразки – мати з очерету було оброблено вогнезахисними покриттями у кількості 0,4 кг/м² поверхні:

– модифікованим покрівельним просочувальним розчином «Skela-i» (експериментальний зразок № 2);

– модифікованим покрівельним просочувальним розчином «Skela-i» з додаванням ПВА-дисперсії (експериментальний зразок № 3).

У якості пального використовували автомобільний бензин А 92.

4. 2. Методика визначення показників властивостей зразків очерету

Дослідження з експериментального визначення параметрів займання очерету проводили за методикою, суть якої полягала у тому, що зразок поміщали у випробувальній камері та піддавали впливу радіаційної панелі. Після запалювання зразка, проводили вимірювання часу займання, максимальну температуру продуктів горіння і часу її досягнення, часу проходження фронтом полум'я ділянок поверхні, довжину згорілої частини зразка [2].

Натурні випробування протидії високій температурі теплоізоляційного мату з очерету проводили за робочою методикою. При цьому конструкція з очерету та оброблена засобами вогнезахисту піддавалась впливу полум'я бензину з заданими параметрами та реєструвалися втрати маси зразка після випробування.

Критерієм визначення ефективності вогнезахисту є відсутність горіння матеріалу, поширення полум'я поверхнею, а також відповідність значення показника втрати маси зразка, яка повинна становити не більше 10 %.

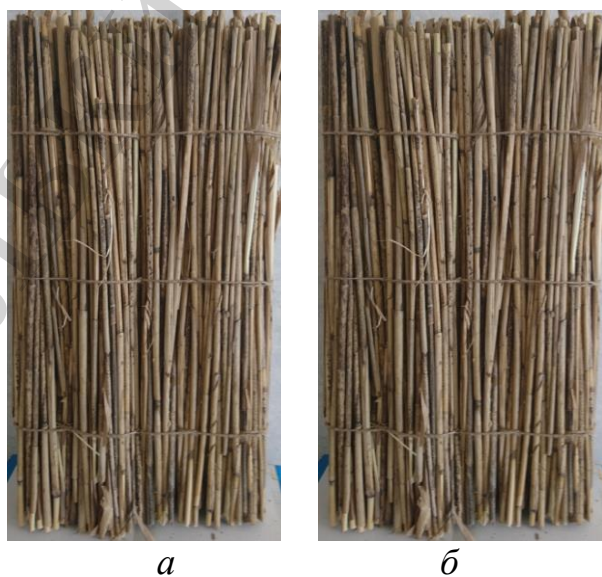


Рис. 1. Модельні зразки теплоізоляційних матів з очерету: а – необроблений; б – оброблений модифікованим покрівельним просочувальним розчином «Skela-i»

5. Експериментальні дослідження вогнезахисної ефективності очерету та результати

Застосування вогнезахищеного очерету передбачає експлуатацію їх зовні будівель, тому встановлення умов вимивання композиції з поверхні очерету, якщо в процесі експерименту вимірюється відносна концентрація антипірену в оточуючому середовищі, наприклад у воді, є актуальними дослідженнями.

У зв'язку з цим, для визначення антипірену у воді проведені експериментальні дослідження. Зразок вогнезахищеного очерету поміщали у дистильовану воду на певний проміжок часу, після чого за методикою [16] визначали кількість антипірену (фосфату карбаміду) у воді (табл. 1).

Таблиця 1

Результати експериментального визначення вимивання антипірену з очерету

| Захищені зразки деревини | Проміжок часу вимивання, хв | | | | | | | | | |
|--|--------------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| | 5 | 10 | 30 | 60 | 120 | 240 | 360 | 600 | 1200 | 1440 |
| | Вміст антипірену у воді (1000 мл), г | | | | | | | | | |
| модифікованим покрівельним просочувальним розчином «Skela-i» | 0,34 | 0,53 | 0,9 | 1,2 | 1,5 | 2,2 | 2,7 | 3,35 | 4,55 | 4,87 |
| те ж з додаванням ПВА-дисперсії 5 % | 0,001 | 0,18 | 0,24 | 0,31 | 0,49 | 0,8 | 1,158 | 1,44 | 1,6 | 1,64 |
| те ж з додаванням ПВА-дисперсії 15 % | 0 | 0,01 | 0,08 | 0,12 | 0,23 | 0,34 | 0,435 | 0,67 | 0,98 | 1,12 |
| те ж з додаванням ПВА-дисперсії 25 % | 0 | 0 | 0,006 | 0,031 | 0,056 | 0,091 | 0,16 | 0,2 | 0,34 | 0,41 |

Результати досліджень з експериментального визначення вимивання антипірену з вогнезахищеного очерету, проведеними у лабораторних умовах, наведено на рис. 2.

Отримані регресійні дані кількості вимитого антипірену при випробуваннях очерету вогнезахищеного, які описуються залежностями типу:

$$v(t) = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2, \quad (1)$$

де t – час вимивання зразка, с; a_0 , a_1 , a_2 – коефіцієнти регресії.

Експериментальні дані оброблювали методом найменших квадратів. Мінімізувалась дисперсія

$$D = [v(t_i) - T_i]^2, \quad (2)$$

де $v(\tau_i)$ – теоретичні значення кількості антипірена у воді, які визначені за формулою (2); T_i – експериментальні значення.

Після мінімізації D розраховували середнє квадратичне відхилення σ по формулі

$$\sigma = \sqrt{D / (n - n_0)}, \quad (3)$$

де n – число вимірів; n_0 – число невідомих параметрів.

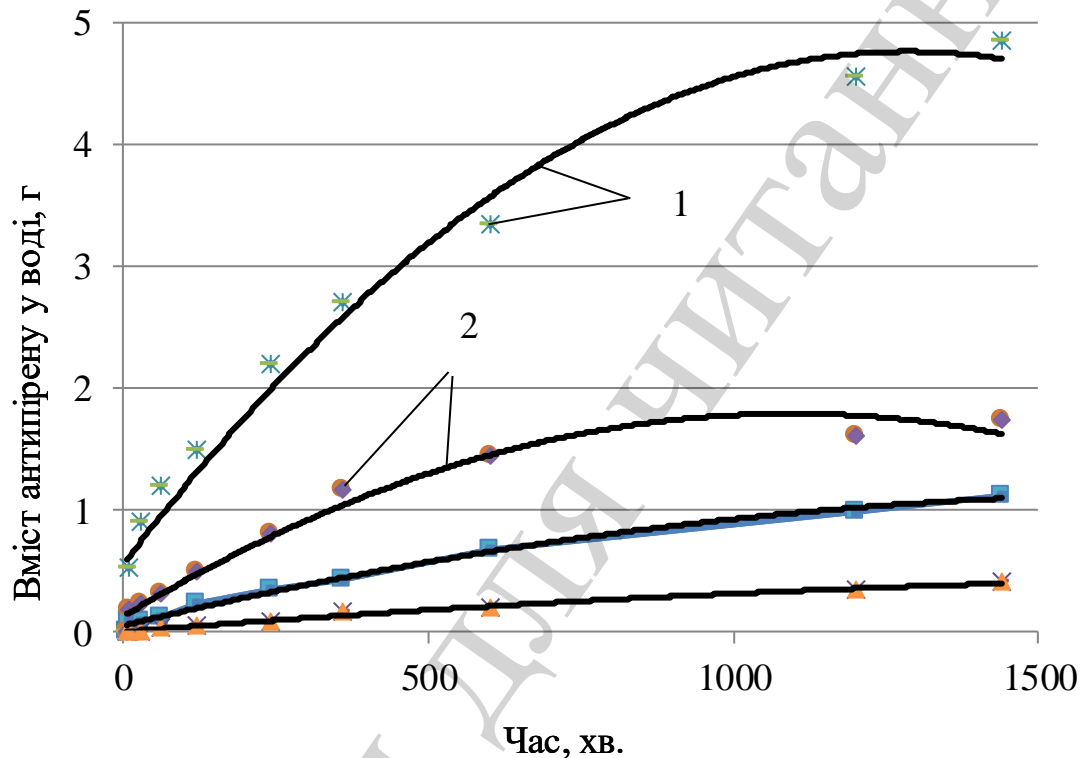


Рис 2. Результати досліджень з експериментального визначення вимивання антипірену при випробуваннях очерету вогнезахисного: 1 – модифікованим покриттєвим просочувальним розчином «Skela-i»; 2 – те ж з додаванням ПВА-дисперсії 5 %; 3 – те ж з додаванням ПВА-дисперсії 15 %; 4 – те ж з додаванням ПВА-дисперсії 25 %

Результати оброблення експериментальних даних по горінню зразків деревини наведено в табл. 2.

Максимальна розбіжність між експериментальними та розрахунковими значеннями не перевищує 5 %, що визнається достовірним при інженерних розрахунках в області моделювання вогнестійкості [17].

Результати табл. 1 показали ефективність застосування полімеру, а саме зниження процесу вимивання більш ніж 10 разів. Однак не в повній мірі дозволяють встановити співвідношення антипіренів та полімерів у даних композиціях та необхідну їх кількість, що потребує проведення оптимізації.

За допомогою трьохфакторного симплекс-центрального методу планування експерименту в математичному середовищі Statistica 12 ((разработчик, страна) (розроблений компанією StatSoft, США) проведено оптимізацію полімерної складової вогнезахисної полімерно-неорганічної композиції при витраті основного зв'язувального агенту – ПВА-дисперсії в кількості 15, 20 і 25 мас. %.

Таблиця 2

Результати оброблення експериментальних даних по горінню зразків очерету

| Зразок вогнезахищеного очерету | Значення параметра | | | |
|--|--------------------|--------|--------------------|----------|
| | a_0 | a_1 | a_2 | σ |
| модифікованим покрівельним просочувальним розчином «Skela-i» | 0,5598 | 0,0065 | $-3 \cdot 10^{-6}$ | 4,32 |
| те ж з додаванням ПВА-дисперсії 5 % | 0,1288 | 0,0030 | $-1 \cdot 10^{-6}$ | 3,22 |
| те ж з додаванням ПВА-дисперсії 10 % | 0,0533 | 0,0012 | $-3 \cdot 10^{-7}$ | 2,85 |
| те ж з додаванням ПВА-дисперсії 25 % | 0,0025 | 0,0004 | $-9 \cdot 10^{-8}$ | 1,66 |

У якості факторів варіювання були обрані: кількість антипіренів (А), %, (фактор X_1); кількість полімеру (ПВА-дисперсія), % (фактор X_2), зміна яких наведена в табл. 3.

Таблиця 3

Фактори варіювання

| Фактори, вигляд | | Рівні варіювання | | Інтервал варіювання |
|------------------|-----------|------------------|-----------|---------------------|
| натуральний | кодований | нижній 0 | верхній 1 | |
| А, % | X_1 | 25 | 35 | 5 |
| ПВА-дисперсія, % | X_2 | 15 | 25 | 5 |

У якості вихідного параметру було обрано кількість вимитого антипірену у воді, значення якого фіксували експериментально, при зануренні вогнезахищеного зразка у воду (1000 мл). Матриця планування експерименту та її математична реалізація наведена в табл. 4.

У результаті моделювання отримані рівняння регресії та побудовані тернарні поверхні змін вихідного параметру в залежності від змін факторів варіювання (рис. 3).

Рівняння регресії при вимиванні антипірену:

$$Y_{\text{разр}} = 2,759 - 0,950X_1 - 0,167X_2 + 0,794X_{11} - 1,256X_{22} - 0,075X_1X_2. \quad (4)$$

Характер зміни ізоліній кількості вимитого антипірену на тернарних поверхнях ідентичний, значення яких напряму залежить від варіацій концентрацій складових полімерно-неорганічної композиції (рис. 3).

Таблиця 4

Матриця експерименту та її математична реалізація

| № п/п | Матриця плану в кодах | | Матриця плану в натуральних величинах, % | | $Y_{\text{факт.}}, \text{Г}$ | $Y_{\text{розн.}}$ |
|----------|--------------------------|-------|---|-----------|------------------------------|--------------------|
| | X_1 | X_2 | ПВА-Дисперсія | Антипірен | | |
| 1 | 1 | 1 | 25 | 35 | 0,6 | 1,30 |
| 2 | 1 | 1 | 25 | 25 | 0,9 | 1,65 |
| 3 | -1 | -1 | 15 | 35 | 3,1 | 2,45 |
| 4 | -1 | -1 | 15 | 25 | 4,9 | 4,30 |
| 5 | 1 | 1 | 25 | 30 | 3,8 | 2,36 |
| 6 | -1 | -1 | 15 | 30 | 3 | 4,26 |
| 7 | 0 | 0 | 20 | 35 | 0,5 | 0,46 |
| 8 | 0 | 0 | 20 | 25 | 1,7 | 1,56 |
| 9 | 0 | 0 | 20 | 30 | 1,6 | 1,89 |
| 10 | 0 | 0 | 20 | 30 | 0,4 | 1,89 |
| 11 | 0 | 0 | 20 | 30 | 3,1 | 1,89 |

Так, при витраті ПВА-дисперсії в кількості 15 % спостерігається зниження кількості вимитого антипірену до 3 разів при одночасному збільшенні в складі композиції антипірену від 60 до 55 % (фактор X_2). При витраті ПВА-дисперсії в кількості 20 % фіксується найбільш низький показник вимивання антипірену, який характерний для композиції складу: ПВА-дисперсії в кількості 20 %; антипірен 40 %. Характер зміни ізоліній на тернарній поверхні аналогічний попередньому. При витраті ПВА-дисперсії в кількості 25 % значення кількості вимитого антипірену дещо підвищується, ніж в попередньому випадку і характерне для композиції складу: антипірен в кількості 40 %; ПВА-дисперсія в кількості 25 %. Характер зміни ізоліній на тернарній поверхні аналогічний попередньому.

У результаті проведеного моделювання визначено найменше співвідношення компонентів для вогнезахисту очерету, коли вимивання антипірену мінімальне (не перевищує 1 г), а саме для області композиції:

- кількість антипірену (%) = 30,0...35,0;
- кількість ПВА-дисперсії (%) = 17,5...22,5.

Результати досліджень з визначення втрати маси зразків очерету при займанні, проведені у лабораторних умовах, наведено на рис. 4, табл. 5.

Дослідження показали (рис. 4), що втрата маси необробленого зразка складала понад 85 %, а для зразка захищеного модифікованим покрівельним просочувальним розчином «Skela-i» близько 2,0 %. Тобто, очерет відноситься до горючих матеріалів, оброблений зразок очерету витримав температурний вплив і відноситься до важкогорючих матеріалів за показником втрати маси.

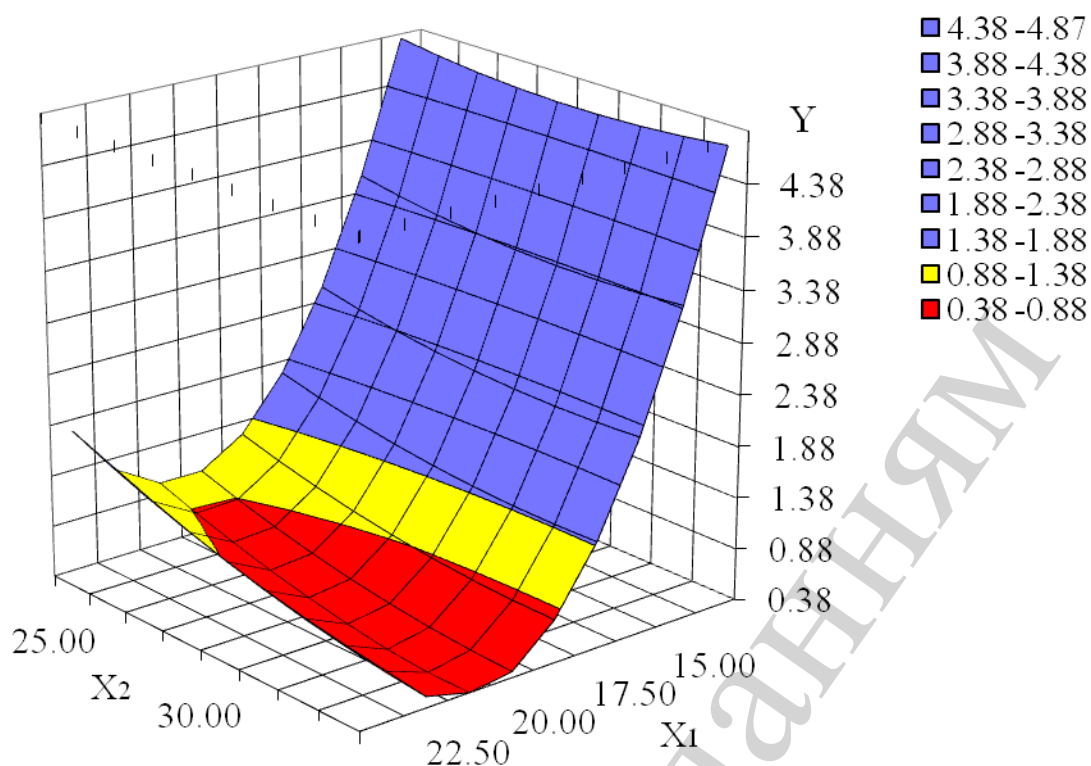


Рис. 3. Тернарні поверхні зміни кількості вимитого антипірену складової вогнезахисної полімерно-неорганічної композиції після вимивання залежно від витрати ПВА-дисперсії

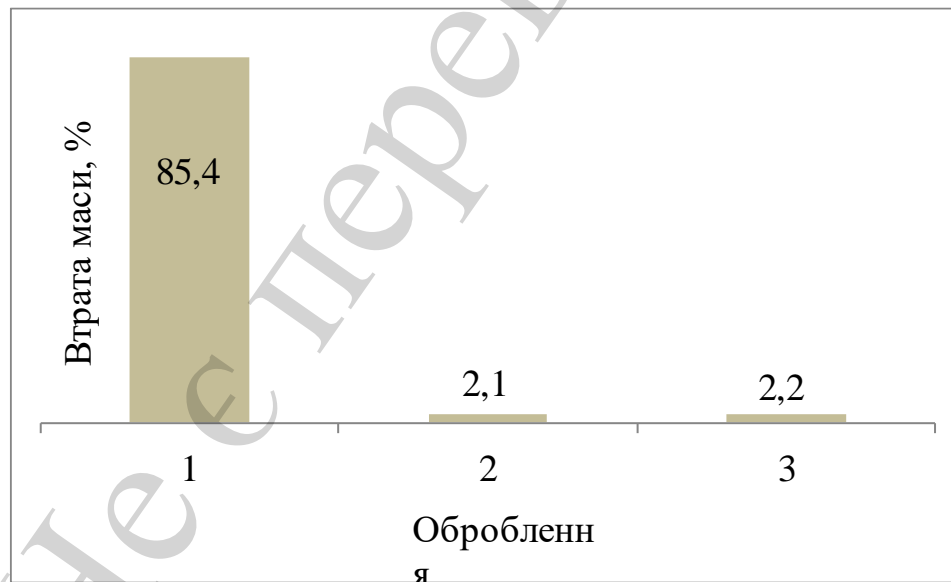


Рис. 4. Результати втрати маси зразків Δm (%) очерету вогнезахищеного: 1 – необроблений; 2 – модифікованим покрівельним просочувальним розчином «Skela-i»; 3 – модифікованим покрівельним просочувальним розчином «Skela-i» з додаванням ПВА-дисперсії

Таблиця 5

Час проходження фронтом полум'я контрольних точок

| Вогнезахищений зразок очерету | Температура димових газів, °C | | Час займання, с | Час проходження фронтом полум'я ділянок зразка, с | | | | | | | | | | Час досягнення максимальної температури димових газів, с | Довжина горіння зразка, мм | Індекс горючості |
|--|-------------------------------|------------|-----------------|---|---|---|----|---|---|---|---|---|-----|--|----------------------------|------------------|
| | T_1 | T_{\max} | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | | | | |
| необроблений | 61 | 323 | 52 | 2 | 8 | 7 | 10 | 6 | 8 | 7 | 6 | 7 | 101 | 294 | 177,5 | |
| модифікованим покрівельним просочувальним розчином «Skela-i» | 64 | 101 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 600 | 0 | 0 | |
| те ж з додаванням ПВА-дисперсії 20 % | 62 | 103 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 600 | 0 | 0 | |

Як видно з табл. 2, під час випробувань зразків очерету було встановлено, що необроблений зразок зайнявся на 52 с, полум'я поширилося по всьому зразку протягом 101 с. Натомість, зразок вогнезахищений, покрівельним просочувальним розчином, а саме сумішшю карбаміду і фосфорних кислот та крохмалю («Skela-i») у кількості 47,1 г/м², не зайнявся, поширення полум'я поверхню не відбулося, максимальна температура димових газів становила 101 °C, а індекс горючості склав 0. Такий же ефект отримано при обробленні зразку очерету композицією з додаванням ПВА-дисперсії (табл. 2).

Отримані результати з визначення найменшого значення при вимиванні антипірену з полімерно-неорганічної композиції дозволяють встановити співвідношення антипіренів та полімерів у даних композиціях та необхідну їх кількість.

Таким чином, встановлено, що зразок очерету за високих температур здатний до займання та швидкого поширення полум'я поверхню. Оброблення очерету модифікованим покрівельним просочувальним розчином «Skela-i» в певній мірі перешкоджає займанню та поширенню полум'я, однак композиція під впливом води вимивається і потребує заходів здатних витримати вплив вологи. Для очерету захищеного модифікованим покрівельним просочувальним розчином «Skela-i» з додаванням ПВА-дисперсії, займання та поширення полум'я не зафіксовано.

Враховуючи, що процеси займання очерету у лабораторних умовах можуть відрізняються від природних, для встановлення ефективності вогнезахисту виробів з очерету були проведені натурні випробування на об'єктах, зокрема, модельних зразках.

На рис. 5 показано результати випробувань необробленого зразка очерету; на рис. 6 – зразка обробленого композицією «Skela-i»; на рис. 7 – зразка обробленого композицією «Skela-i» з додаванням ПВА-дисперсії.

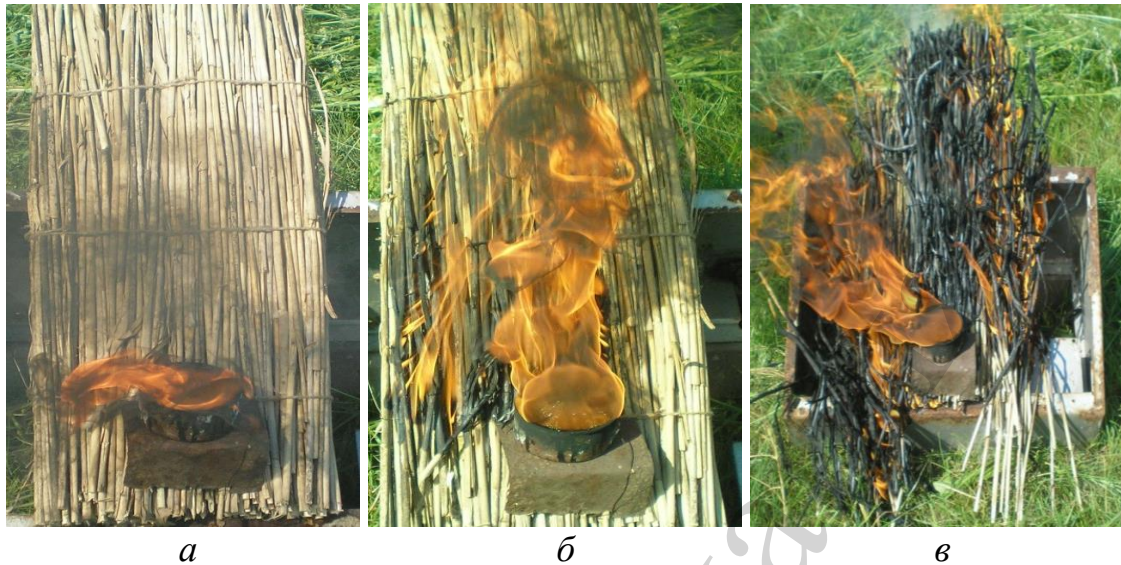


Рис. 5. Результати випробувань модельного необробленого зразка теплоізоляційного мату з очерету: *а* – горіння модельного вогнища, *б* – займання очерету, *в* – термічне руйнування зразка

Як видно з рис. 5, необроблений зразок виробу з очерету загорівся, полум'я поширилося по всій площі зразка що привело до повного згорання.

В результаті проведених випробувань встановлено:

- при дії полум'я на необроблений модельний зразок теплоізоляційного мату з очерету призводить до займання на 205 с та поширення полум'я поверхнею, що призводить до його повного згорання;

- модельний зразок теплоізоляційного мату з очерету, оброблений захисними засобами, після вигорання модельного вогнища на основі бензину, не загорівся, відповідно поширення полум'я не відбулося. При цьому зафіксовано спучення захисного покриття, що сягало 3...4 мм та відбулося обуглення поверхні на площі близько 0,025...0,028 м².



Спучення покриття



Рис. 6. Результати випробувань модельного зразка теплоізоляційного мату з очерету, обробленого модифікованим покрівельним просочувальним розчином «Skela-i»



Спучення покриття



Рис. 7. Результати випробувань модельного зразка теплоізоляційного мату з очерету, обробленого засобом модифікованим покрівельним просочувальним розчином «Skela-i» з додаванням ПВА-дисперсії

6. Оцінювання вогнестійкості конструкцій з очерету

Оцінювання дієвості вогнезахисту конструкції з очерету проведено за способом, при якому ефективність вогнезахисту (табл. 6) визначають за відношенням швидкості вигорання необробленого і обробленого зразків.

Таблиця 6
Результати випробувань конструкції з очерету

| Моделльний зразок теплоізоляційного мату з очерету | Втрата маси Δm , кг | Час займання зразка, с | Площа пошкодження зразка S , м ² | Швидкість вигорання зразка v , кг/(м ² ·с) | Коефіцієнт ефективності, E_m |
|--|-----------------------------|------------------------|---|---|--------------------------------|
| необроблений | 0,820 | 205 | 0,196 | 0,0066 | не встановлено |
| оброблений засобом модифікованим покрівельним просочувальним розчином «Skela-i» | 0,009 | не визначено | 0,025 | $0,84 \cdot 10^{-3}$ | 7,85 |
| оброблений засобом модифікованим покрівельним просочувальним розчином «Skela-i» з додаванням ПВА-дисперсії | 0,008 | не визначено | 0,028 | $0,67 \cdot 10^{-3}$ | 9,85 |

Таким чином, їх розраховують через втрату маси зразка та площу його пошкодження під час випробування та одночасно вимірюють час займання зразка, а характеристики горіння оцінюють після випробування на займистість за коефіцієнтом E_m :

$$E_m = \frac{v_n}{v_o} \cdot \left(1 - \frac{\tau_n}{\tau_b} \right), \quad (5)$$

де τ_n – час займання необробленого зразка; τ_b – час займання вогнезахисного зразка; v_n , v_o – швидкість вигорання необроблених та оброблених зразків, яку розраховують за формулою:

$$v_{n(o)} = \frac{\Delta m}{\tau \cdot S}, \quad (6)$$

де Δm – втрата маси зразка після випробувань; τ – час випробування (426 с); S – площа пошкодження зразка.

Розраховані за (5) коефіцієнти ефективності вогнезахисту (E_m) при горінні очерету, які наведено у табл. 6, порівняно з необробленими збільшуються в 8...10 разів.

Таким чином, використання запропонованого способу дозволяє експериментально-розрахунковим методом визначати ефективність вогнезахисту конструкції з очерету і підвищити достовірність результатів оцінювання.

7. Обговорення результатів з визначення ефективності вогнезахисту очерету

Горючість очерету, на що вказують результати досліджень (рис. 4–7, табл. 5, 6), проходить шляхом його займання і швидкого поширення полум'я поверхнею під дією джерела запалювання та втратою маси зразка. Натомість для захищеного зразка, за рахунок дії антипіренів, процеси займання і поширення полум'я значно уповільнюються. Такий механізм захисного засобу обумовлюється насамперед розкладом антипіренів під дією температури з поглинанням тепла та виділенням негорючих газів, зміною напрямлення розкладу матеріалу в сторону утворення важкогорючого коксового залишку. Окрім того, проходять процеси гальмування окислення в газовій і конденсованій фазі і утворенням на поверхні деревини теплозахисного шару коксу. Це погоджується з даними, відомими з робіт [5, 6], автори яких теж пов'язують ефективність термічного захисту матеріалу від дії захисних речовин при додаванні антипіренів.

На відміну від результатів досліджень авторів робіт [7, 8], отримані дані щодо впливу захисних засобів на процес передавання тепла до матеріалу і зміни теплоізоляційних властивостей дозволяють стверджувати наступне:

- основним регулятором процесу є не тільки формування теплозахисного шару коксу, а і розкладання антипіренів з виділенням негорючих газів, зокрема азот, діоксид вуглицю. Ці гази взаємодіють з полум'ям та гальмують процеси окислення в газовій і конденсованій фазі, що відмічено у роботі [1, 2];

- суттєвий вплив на процес захисту горючого матеріалу при застосуванні вогнезахисного покриття здійснюється у напрямку реакцій у передполуменовій області убік утворення сажеподібних продуктів на поверхні природного горючого матеріалу.

Такі висновки можуть вважатися за доцільні з практичної точки зору, тому що дозволяють обґрунтовано підходити до визначення необхідної рецептури вогнезахисного засобу. Оброблення матеріалу покрівельною композицією більш ефективно протидіє високій температурі за рахунок утворення теплоізоляційного шару коксу, на що і потрібно направити головну увагу при розробленні рецептури покриттів для очерету. З теоретичної точки зору вони дозволяють стверджувати про визначення механізму процесів вогнезахисту, що є певними перевагами даного дослідження. Зокрема, це передбачає наявність даних, достатніх для якісного проведення процесу гальмування температури та виявлення на його основі моменту часу, з якого починається процес займання. Таке виявлення дозволить дослідити перетворення поверхні і структури очерету, під дією вогнезахисту, у сторону утворення коксу і інгібування полум'я, та визначити ті змінні, що суттєво впливають на початок цього процесу.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на теоретичне та експериментальне вивчення процесів горіння теплоізоляційних матеріалів, встановлення взаємозв'язку між складовими і властивостями засобів захисту та їх впливу на процеси теплостійкості будівельних конструкцій.

8. Висновки

1. Особливості гальмування процесу займання та поширення полум'я очерету, що оброблений покрівельним просочувальним розчином, полягають у направленні розкладу покриття при дії високої температури та в утворенні теплоізоляційного шару коксу, що запобігає вигоранню і проходженню високої температури до матеріалу. А саме, зразок, вогнезахисний покрівельним просочувальним розчином, не зайнявся, поширення полум'я поверхнею не відбулося, максимальна температура димових газів становила 101 °С, а індекс горючості склав 0. Додавання до композиції ПВА-дисперсії у кількості 20 % знижує процес вимивання майже у 6 разів, при цьому ефективність вогнезахисту не змінюється. Це свідчить про можливість спрямованого регулювання процесів передавання високої температури до органічного матеріалу шляхом використання спеціальних композицій для виробів з очерету.

2. Натурні випробування показали, що при дії полум'я бензину необроблений модельний зразок теплоізоляційного мату з очерету зайнявся на 205 с, що призвело до його повного згорання. Натомість зразок, що оброблений захисними засобами, після вигорання модельного полум'я не загорівся, відповідно поширення полум'я не відбулося, при цьому зафіксовано спучення захисного покриття та під час дії полум'я відбулося обвуглення поверхні на площі близько 0,025...0,028 м².

Встановлено, що швидкість вигорання зразків очерету, оброблених вогнезахисними засобами, порівняно з необробленими, зменшується майже в 10 разів. Розраховані коефіцієнти ефективності вогнезахисту при горінні очерету, які порівняно з необробленими збільшуються в 8...10 разів.

Література

1. Tsapko, Y., Tsapko, A. (2018). Modeling a thermal conductivity process under the action of flame on the wall of fire-retardant reed. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (10 (92)), 50–56. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.128316>
2. Tsapko, Y., Tsapko, A. (2018). Establishment of fire protective effectiveness of reed treated with an impregnating solution and coatings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (10 (94)), 62–68. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.141030>
3. Tsapko, Y., Tsapko, A., Bondarenko, O. (2019). Establishment of heat-exchange process regularities at inflammation of reed samples. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (10 (97)), 36–42. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.156644>
4. Tsapko, Y., Kyrycyok, V., Tsapko, A., Bondarenko, O., Guzii, S. (2018). Increase of fire resistance of coating wood with adding mineral fillers. *MATEC Web of Conferences*, 230, 02034. doi: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201823002034>
5. Tsapko, Y., Tsapko, A., Bondarenko, O. (2019). Effect of a flame-retardant coating on the burning parameters of wood samples. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (10 (98)), 49–54. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.163591>

6. Xiao, N., Zheng, X., Song, S., Pu, J. (2014). Effects of Complex Flame Retardant on the Thermal Decomposition of Natural Fiber. *BioResources*, 9 (3), 4924–4933. doi: <https://doi.org/10.15376/biores.9.3.4924-4933>
7. Nine, M. J., Tran, D. N. H., Tung, T. T., Kabiri, S., Losic, D. (2017). Graphene-Borate as an Efficient Fire Retardant for Cellulosic Materials with Multiple and Synergetic Modes of Action. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 9 (11), 10160–10168. doi: <https://doi.org/10.1021/acsami.7b00572>
8. Cirpici, B. K., Wang, Y. C., Rogers, B. (2016). Assessment of the thermal conductivity of intumescent coatings in fire. *Fire Safety Journal*, 81, 74–84. doi: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2016.01.011>
9. Krüger, S., Gluth, G. J. G., Watolla, M.-B., Morys, M., Häbeler, D., Scharrel, B. (2016). Neue Wege: Reaktive Brandschutzbeschichtungen für Extrembedingungen. *Bautechnik*, 93 (8), 531–542. doi: <https://doi.org/10.1002/bate.201600032>
10. Gillani, Q. F., Ahmad, F., Mutalib, M. I. A., Melor, P. S., Ullah, S., Arogundade, A. (2016). Effect of Dolomite Clay on Thermal Performance and Char Morphology of Expandable Graphite Based Intumescent Fire Retardant Coatings. *Procedia Engineering*, 148, 146–150. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.505>
11. Md Nasir, K., Ramli Sulong, N. H., Johan, M. R., Afifi, A. M. (2018). An investigation into waterborne intumescent coating with different fillers for steel application. *Pigment & Resin Technology*, 47 (2), 142–153. doi: <https://doi.org/10.1108/prt-09-2016-0089>
12. Carosio, F., Alongi, J. (2016). Ultra-Fast Layer-by-Layer Approach for Depositing Flame Retardant Coatings on Flexible PU Foams within Seconds. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 8 (10), 6315–6319. doi: <https://doi.org/10.1021/acsami.6b00598>
13. Fan, F., Xia, Z., Li, Q., Li, Z. (2013). Effects of inorganic fillers on the shear viscosity and fire retardant performance of waterborne intumescent coatings. *Progress in Organic Coatings*, 76 (5), 844–851. doi: <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2013.02.002>
14. Khalili, P., Tshai, K. Y., Hui, D., Kong, I. (2017). Synergistic of ammonium polyphosphate and alumina trihydrate as fire retardants for natural fiber reinforced epoxy composite. *Composites Part B: Engineering*, 114, 101–110. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.01.049>
15. Subasinghe, A., Das, R., Bhattacharyya, D. (2016). Study of thermal, flammability and mechanical properties of intumescent flame retardant PP/kenaf nanocomposites. *International Journal of Smart and Nano Materials*, 7 (3), 202–220. doi: <https://doi.org/10.1080/19475411.2016.1239315>
16. ДСТУ 4479:2005. Речовини вогнезахисні водорозчинні для деревини. Загальні технічні вимоги та методи випробувань (2006). К.: Держспоживстандарт України, 17.
17. Lee, T., Puligundla, P., Mok, C. (2019). Degradation of benzo[a]pyrene on glass slides and in food samples by low-pressure cold plasma. *Food Chemistry*, 286, 624–628. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.210>
18. Шналь, Т. (2006). Огнестойкость деревянных конструкций. Львов: Изд-во “Львовская политехника”, 220.